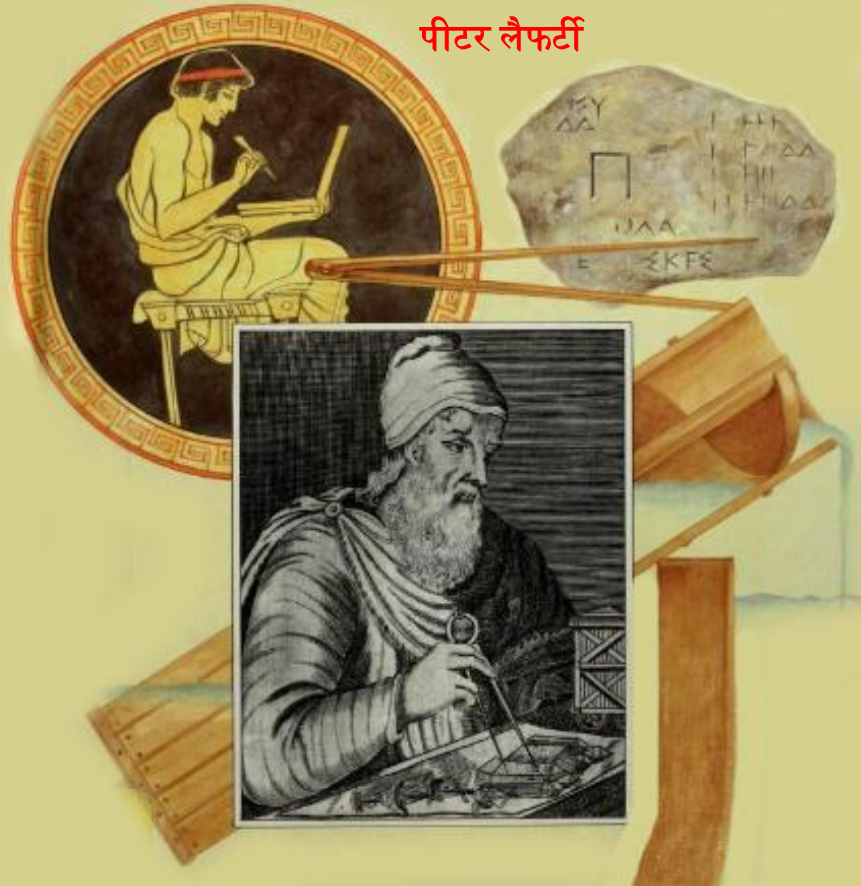
विज्ञान के महान खोजी

आर्किमिडीज़

पीटर लैफर्टी

विषय-सूची

१. आर्किमिडीज़ की दुनिया

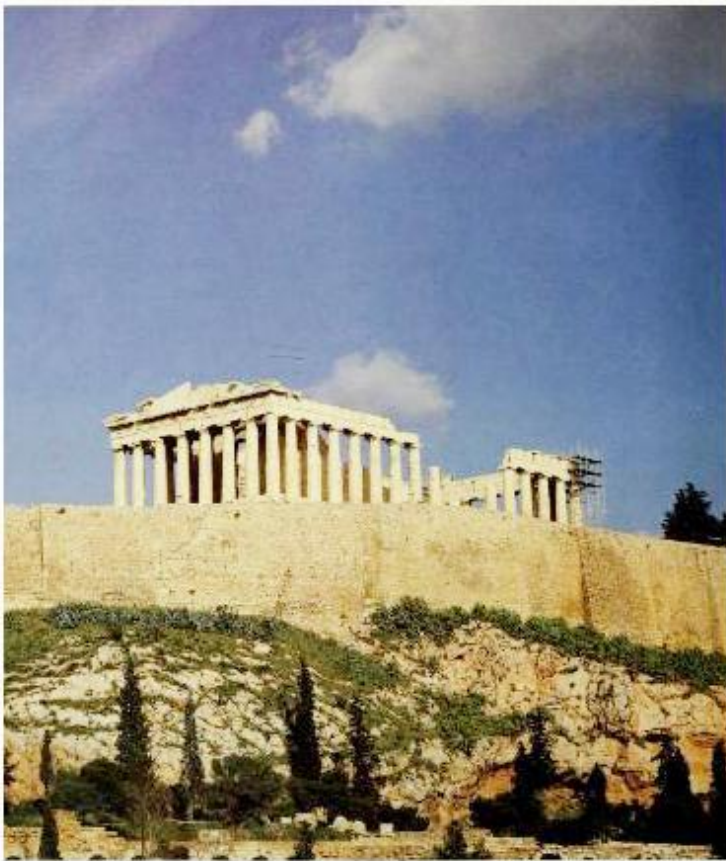
आर्किमिडीज़ का जन्म २००० वर्ष पहले सिसिली के सिराक्यूज़ शहर में हुआ था। सिसिली इटली के दक्षिणी छोर के नज़दीक स्थित एक द्वीप है। उन दिनों सिराक्यूज़ ग्रीक राज्य का ही हिस्सा था, हालाँकि वह ग्रीस से बहुत दूर था, क्योंकि प्राचीन ग्रीक सभ्यता भूमध्य (Mediterranean) क्षेत्र के पूर्वी हिस्से में सभी ओर फैली हुई थी।

वह ग्रीस का स्वर्णिम काल था। एथेंस और सिराक्यूज़ जैसे नगर बहुत समृद्धिशाली थे क्योंकि पूरे भूमध्य क्षेत्र से सौदागर अपना कारोबार करने वहां आया करते थे। इस सम्रृद्धि के कारण बहुत से ग्रीक निवासियों के पास खाली समय था, जिसका उपयोग वे चिंतन-मनन और विभिन्न विषयों पर वाद-विवाद में करते थे। बहुत से नए विचारों और सिद्धांतों का जन्म ग्रीस के स्कूलों और विश्वविद्यालयों में हुआ। प्रजातंत्र की परिकल्पना, यानि नागरिक अपने नेताओं का चुनाव स्वयं करें, भी ग्रीस में ही प्रारंभ हुई।

शायद ग्रीस के लोगों ने ही सर्वप्रथम प्राकृतिक संसार के विषय में तर्कपूर्ण रूप से सोचना और अपने चारों ओर होने वाली घटनाओं के कारणों को खोजना शुरू किया। उन्हें यह स्वीकार्य नहीं था कि प्राकृतिक घटनाओं को देवी देवताओं का कार्य-कलाप मान कर ही संतुष्ट हो जाएँ। उनके इसी नज़रिये के कारण, जिसे आज हम विज्ञान के नाम से जानते है, इस विषय का जन्म हुआ।

आर्किमिडीज़ के समय के भूमध्य क्षेत्र का मानचित्र। उसका जन्म और पालन-पोषण सिसिली में स्थित ग्रीक राज्य के शहर सिराक्यूज़ में हुआ था।

प्राचीन मिस्र के एक मकबरे में बना भित्तिचित्र जो वहां खेती के कार्य को दर्शाता है। मिस्र के लोग सितारों की गति का अध्ययन करके फसलें बोने के सबसे उचित समय का अनुमान लगाते थे।

ग्रीक लोगों के पहले, प्राचीन मिस्र और बेबीलोन के लोगों को गणित और खगोल का थोड़ा बहुत ज्ञान था। लेकिन उन लोगों ने अपने आस-पास की घटनाओं को समझने और उनके कारणों को खोजने का प्रयत्न नहीं किया था। वे व्यावहारिक लोग थे। वे सितारों की गति के ज्ञान का उपयोग फसल बोने का उचित समय जानने के लिए करते थे, और इसी से संतुष्ट थे। सितारे क्यों गतिमान प्रतीत होते हैं इसकी खोज-बीन करने का विचार कभी उनके मन में नहीं आया। मिस्र के लोगों को मालूम था कि यदि किसी त्रिभुज की भुजाओं का अनुपात ३:४:५ का हो, तो उसका एक कोण समकोण होता है। वे इस ज्ञान का प्रयोग अपने पिरामिड व् अन्य भवनों के निर्माण में करते थे। लेकिन उनके मन में यह जिज्ञासा नहीं उठी कि ऐसे त्रिभुजों में समकोण क्यों होता है। या फिर यह जिज्ञासा कि क्या समकोण वाले अन्य त्रिभुजों में परस्पर कोई समानता थी?

लगभग ४०० ईसापूर्व में ग्रीक लोगों ने एथेंस में पर्थेनॉन नाम का एक मंदिर बनाया। यहाँ देवी एथेना की पूजा-अर्चना होती थी।

इस बात की खोज ग्रीस के विद्वान दार्शनिक पाइथागोरस ने की, कि समकोणीय त्रिभुजों की भुजाओं की लम्बाईयों में परस्पर एक गहरा सम्बन्ध होता है। पाइथागोरस का समय था ५७० से ५०० ईसापूर्व का। उसकी इस खोज को पाइथागोरस सिद्धांत का नाम दिया गया है, और आज इसे स्कूली बच्चों को पढ़ाया जाता है।

पाइथागोरस को रेखागणित या ज्यामिति का अध्ययन बहुत प्रिय था। ज्यामिति यानि बिंदुओं, रेखाओं, कोणों, समतलों और ठोस आकृतियों की गणित। उसे संख्याओं का अध्ययन और उनका आकलन करना भी बहुत अच्छा लगता था। उसका मानना था कि रेखागणित और संख्याओं का अध्ययन ही प्राकृतिक जगत को समझने की कुंजी है।

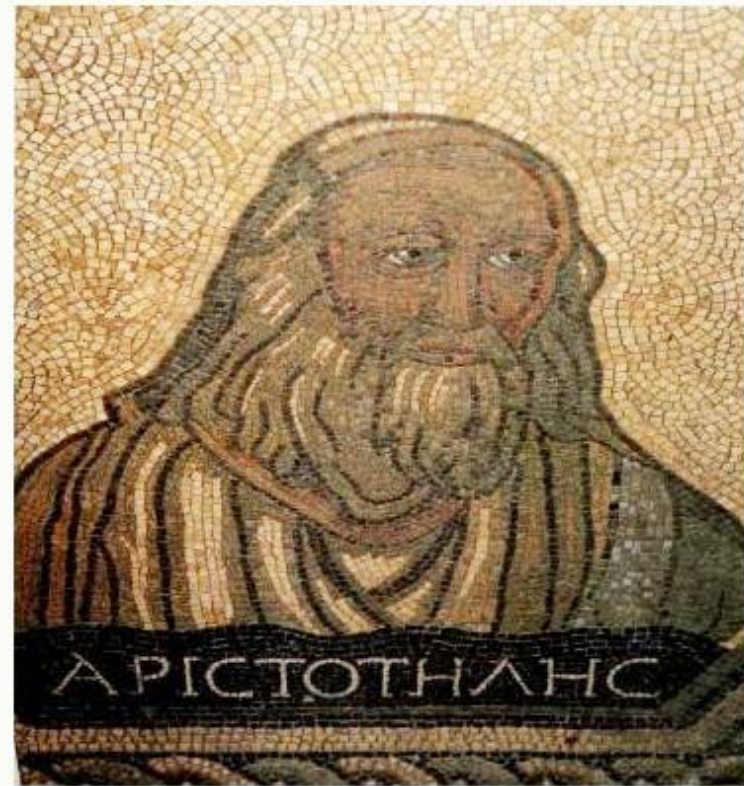
दूसरे प्रसिद्ध ग्रीक वैज्ञानकों में एक थे डेमोक्रिटस, जिनका जीवनकाल ४६० से ३७० ईसापूर्व तक था। उनका कहना था कि सभी पदार्थ परमाणु नामक नन्हे-नन्हे कणों से बने हैं। लेकिन इस बात का प्रमाण खोजने में वैज्ञानिकों को २००० वर्ष लग गए।

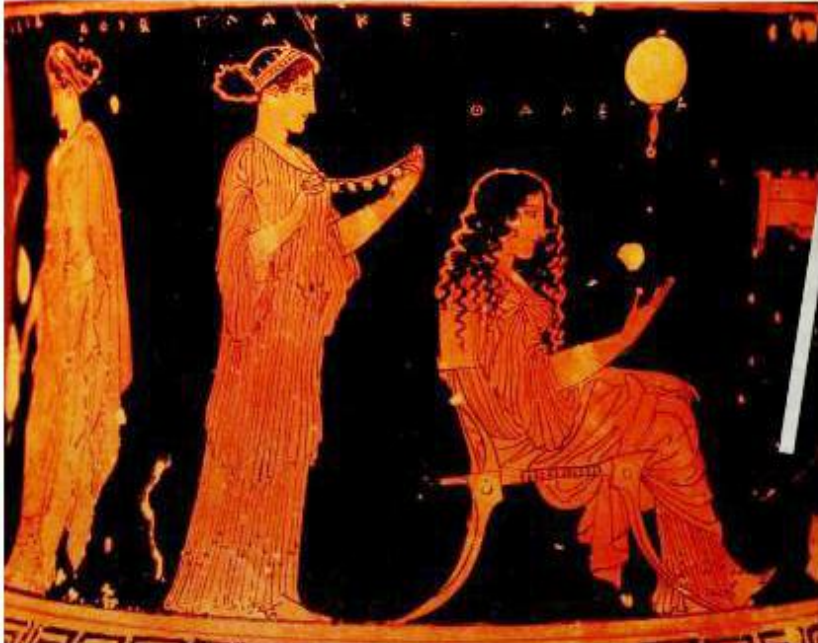
हिप्पोक्रेट्स, जिनका जीवनकाल ४६० से ३७७ ईसापूर्व था, ने चिकित्सा के क्षेत्र में वैज्ञानिक अध्ययन प्रारम्भ किया। उनका मानना था कि इलाज निश्चित करने से पहले चिकित्सक को मरीज़ का भली भांति अध्ययन करना चाहिए। आज भले ही यह बात हमें प्रत्यक्ष जान पड़ती हो, लेकिन प्राचीन काल में, जब लोग यह मानते थे की बीमारियां ईश्वर द्वारा भेजी जाती हैं, यह एक नयी तरह का विचार था।

जिसे अब हम ईराक़ कहते हैं, २६०० वर्ष पूर्व वहां बेबीलोन के लोग रहते थे। वे शायद विश्व के पहले खगोलविदों में थे। उनका मानना था कि पृथ्वी एक बहुत बड़े गोले के केंद्र में स्थित है, और इस गोले के चारों और पानी भरा हुआ है।

प्लेटो, जिनका जीवनकाल ४२७ से ३४७ ई. पू. था ,ग्रीस के महानतम विचारकों में एक थे। उन्होंने एथेंस विश्वविद्यालय में सिखाया कि तर्कपूर्ण चिंतन और ज्यामितीय विवेचन कितना महत्वपूर्ण है। अरस्तु, जिनका जीवनकाल ३८४ से ३२२ ई. पू. था , प्लेटो के ही शिष्य थे। उन्होंने प्लेटो के विचारों का प्रयोग नैसर्गिक जगत के अध्ययन के लिए किया।

परन्तु प्राचीन ग्रीस के महानतम वैज्ञानिक थे आर्किमिडीज़। उनका जन्म २८७ ईसापूर्व में हुआ था, और मृत्यु २१२ ईसापूर्व में। उन्होंने अनेक नई वैज्ञानिक खोजें कीं। वह एक खगोलविद थे, और उन्होंने एक तारामंडल (planetarium) का निर्माण किया जो रात्रि आकाश में सितारों की गति को दर्शाता था। उन्होंने पृथ्वी से सूर्य की दूरी का आकलन किया, और यह भी अनुमान लगाया कि पूरे ब्रह्माण्ड को भरने के लिए कितने रेत के कणों की आवश्यकता होगी।

प्राचीन ग्रीस के लोग अपने फूलदानों पर दैनिक जीवन के चित्र बनाया करते थे। ५०० ईसापूर्व के इस पात्र पर एक युवती को आभूषण पहनाए जाने का चित्रण है।

प्राचीन ग्रीस के विचारक और वैज्ञानिक अरस्तु का पत्थर के टुकड़ों से बना चित्र।

वह बहुत कुशल गणितज्ञ थे, और उन्होंने ज्यामिति के बहुत से सूत्रों को सिद्ध किया। उन्होंने एक वृत्त के क्षेत्रफल और गोलाकार पिंड के आयतन का आकलन करने की विधि भी खोजा। उन्होंने लीवर और घिरनियों की कार्य प्रणाली का अध्ययन किया और उनका इस्तेमाल करके विशालकाय बोझ उठा सकने वाली मशीनें बनाईं। जब रोम ने २१५ ई. पू. में सिराक्यूज़ पर आक्रमण किया, तो उनके बनाए कुछ यंत्रों का प्रयोग शहर की रक्षा के लिए किया गया।

इस प्राचीन चित्र में आर्किमिडीज़ को उसके कुछ आविष्कारों के साथ दर्शाया गया है।

कदाचित आर्किमिडीज़ की महानतम खोज थी यह समझ पाना कि वस्तुएं पानी या अन्य द्रवों में क्यों तैरती हैं। इसका कारण उसने "आर्किमिडीज़ का सिद्धांत" नामक पुस्तक में समझाया है, जो आज भी स्कूलों में पढाई जाती है। द्रव पदार्थों पर उसके अध्ययन से विज्ञान का एक नया क्षेत्र जो कि हायड्रोस्टैटिक्स (Hydrostatics) के नाम से जाना जाता है, प्रारम्भ हुआ। यह विज्ञान स्थिर द्रवों द्वारा लगाए जाने वाले बलों का अध्ययन करता है।

२. नौजवान आर्किमिडीज़

आर्किमिडीज़ के पिता फिडायस एक खगोलविद और गणितज्ञ थे। आर्किड़िमीज़ के प्रारंभिक जीवन या उसके परिवार के बारे में अधिक जानकारी उपलब्ध नहीं है। संभवतः वह एक धनी व कुलीन परिवार से था, जिसका सम्बन्ध शायद सिराक्यूज़ के राजा हायरॉन से था।

अन्य ग्रीक बालकों की भांति ही उसने भी शायद आठ वर्ष की अवस्था में स्कूल जाना प्रारम्भ किया होगा। ये स्कूल प्रायः अध्यापक के घर पर ही हुआ करते थे। अच्छे मौसम में बच्चे घर के खुले आँगन में बेंचों पर बैठा करते थे। उन्हें वही सब विषय पढ़ाये जाते थे, जो आजकल के बच्चों को, जैसे पढ़ना, लिखना, गणित, संगीत और भूगोल। लिखाई और गणित के लिए लकड़ी की एक पट्टी का प्रयोग होता था, जिस पर मोम का लेप किया होता था। मोम की परत पर किसी हड्डी के टुकड़े या लोहे की डंडी से खुरच कर अक्षर लिखे जाते थे। बड़े बच्चे लिखने के लिए कागज़ और सियाही का प्रयोग करते थे। ज्यामिति के प्रश्न धरती पर गीली रेत में चित्र बना कर हल किये जाते थे।

६०० ईसापूर्व का पाषाण-पटल जिस पर ग्रीक अक्षर अंकित हैं। यह शिलालेख बतलाता है कि पुजारी किस प्रकार पक्षियों की उड़ान को देख कर आनेवाली घटनाओं की भविष्यवाणी किया करते थे।

यद्यपि ग्रीक लोग गणित में काफी रुचि रखते थे, संख्याओं को लिखने का उनका तरीका काफ़ी बेढब था। वे अपनी वर्णमाला के अक्षरों का ही प्रयोग संख्याओं को दर्शाने के लिए भी करते थे। अक्षर के पास एक छोटा निशान लगा कर यह जताया जाता था कि वह अक्षर नहीं बल्कि एक संख्या है। इस प्रणाली में बड़ी संख्याओं के साथ गणना बहुत कठिन हो जाती थी, क्योंकि उस संख्या को लिखने के लिए बहुत से अक्षरों का प्रयोग करना पड़ता था। दूसरी दिक़्क़त यह थी कि ग्रीक लोगों के पास शून्य को दर्शाने के लिए कोई अंक नहीं। था। आर्किमिडीज़ जब बड़ा हुआ तो उसने बड़ी संख्याओं को लिखने, और उनकी गणना करने का एक नया तरीका ईजाद किया।

α'	β'	γ'	δ'	ε'	ς'	ζ'	η'	θ'
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ι'	κ'	λ'	μ'	ν'	ξ'	ο'	π'	ϙ'
10	20	30	40	50	60	70	80	90
ρ'	σ'	τ'	υ'	φ'	χ'	ψ'	ω'	ϡ'
100	200	300	400	500	600	700	800	900

σ'μ'δ'	244
+ φ'π'η'	588 +
ω'λ'β'	832

ग्रीक वर्णमाला के पहले पांच अक्षर हैं: अल्फा, बीटा, गामा, डेल्टा और एप्सिलॉन। अक्षर के समीप एक छोटा निशान यह जताता है कि उस अक्षर का प्रयोग संख्या के रूप में हो रहा है। चित्र में दिखाई गई गणना उसी प्रकार की जाती थी, जैसे हम साधारणतः करते हैं, परन्तु बड़ी संख्यों के साथ गणना करना बहुत कठिन हो जाता था।

सिराक्यूज़ में अपनी शिक्षा पूरी करने के बाद आर्किमिडीज़ अलेक्सांद्रिया में पढ़ने के लिए मिस्र गया। अलेक्सांद्रिया प्राचीन जगत का महानतम नगर था। इस शहर की

स्थापना खुद सिकंदर महान ने ३३१ ईसापूर्व में की थी। यहाँ आर्किमिडीज़ के देखने के लिए अनेक अद्भुत नज़ारे थे। बंदरगाह के समीप था प्रसिद्ध फरोज़ प्रकाश स्तम्भ (light house) जो कि कई माले ऊँचा था, और उसके शिखर पर एक अलाव जलाया जाता था, जो कि जहाज़ों को दूर से दिखाई दे। यह प्राचीन विश्व के सात महान आश्चर्यों में से एक था। एक और अद्भुत स्थान था अलेक्सांद्रिया का महान संग्रहालय और पुस्तकालय, जिसमें पेपिरस के चिट्ठों पर लिखी दस लाख से भी अधिक पुस्तकें थीं। यह पुस्तकालय और संग्रहालय आजकल के विश्वविद्यालयों के समान ही था।

संसार के सबसे विद्वान् स्त्री-पुरुषों को यहाँ पढ़ाने और काम करने के लिए आमंत्रित किया जाता था। उनका वेतन स्वयं राजा टॉलेमी द्वारा दिया जाता था, और वे अपने अध्ययन और शोध-कार्य के लिए पूरी तरह स्वतंत्र होते थे।

अलेक्सांद्रिया के फरोज़ प्रकाश-स्तम्भ का एक प्राचीन रेखा चित्र। १२० मीटर से अधिक ऊंचा यह प्रकाश-स्तम्भ २७० ईसापूर्व में बनाया गया था, और ४०० ईस्वी में एक भूकंप के कारण यह ध्वस्त हो गया।

एक प्रसिद्ध विद्वान जिसने आर्किमिडीज़ के जन्म से पहले अलेक्सांद्रिया में कार्य किया था, वह था यूक्लिड। उसका जीवनकाल लगभग ३३० से २७५ ईसापूर्व का था। यूक्लिड एक कुशल गणितज्ञ था, परन्तु अधिक महत्वपूर्ण बात यह है कि उसने एक सुनियोजित तरीके से ज्यामिति के क्षेत्र में ग्रीक विद्वानों द्वारा खोजे गए सिद्धांतों का संकलन किया। उसने इन सिद्धांतों को तर्कसंगत रूप से क्रमबद्ध किया, और यह दिखाया कि कैसे मुश्किल सिद्धांतों को भी कुछ सरल सिद्धांतों के माध्यम से सिद्ध किया जा सकता था। "द एलिमेंट्स" नामक उसकी पुस्तक, जिसमे इस तकनीक को समझाया और दर्शाया गया है, पिछले २००० वर्षों से संसार में ज्यामिति की सबसे महत्वपूर्ण पुस्तक रही है। आर्किमिडीज़ ने अवश्य ही इस पुस्तक का ध्यानपूर्वक अध्ययन किया होगा।

अलेक्सांद्रिया में आर्किमिडीज़ के गणित के अध्यापक थे कोनॉन, जो एक खगोलविद भी थे। उन्होंने सूर्य ग्रहणों का अध्ययन किया था। लेकिन वे एक चापलूसी की घटना के लिए अधिक जाने जाते थे। कहा जाता है कि २४५ ईसापूर्व में मिस्र का राजा एक युद्ध के लिए रवाना हो रहा था। उसकी रानी बर्नीस ने अपने कुछ बाल काट कर मंदिर में देवताओं को अर्पित कर दिए। वह बाल ग़ायब हो गए। शायद यादगार चीज़ें एकत्र करने वाले लोगों ने उन्हें चुरा लिया था। लेकिन कोनॉन ने रानी को भरोसा दिलाया कि उन बालों की सुंदरता को देख कर अवश्य ही देवता स्वयं ही उन्हें ले गए हैं। उसने धुंधले तारों के एक समूह की ओर इशारा करके कहा कि वे ही रानी के बाल हैं। तब से तारों के उस समूह का नाम "कोमा बर्नीसेस" यानि बर्नीस के बाल पड़ गया।

अलेक्सांद्रिया के पुस्तकालय की स्थापना ३०० ईसापूर्व में मिस्र के शासक टॉलेमी ने की थी। ६४६ ईस्वी में अरब सैनिकों ने मिस्र पर विजय प्राप्त करने के बाद इसे ध्वस्त कर दिया।

यह प्राचीन मानचित्र दर्शाता है कि इरातोस्थेनेस की जानकारी के अनुसार विश्व का भूगोल कैसा था।

आर्किमिडीज़ के एक मित्र का नाम था इरातोस्थेनेस। कोनॉन की ही भांति उसने भी अपना सारा जीवन अलेक्सांद्रिया में ही गुज़ारा था, जहां उसे मुख्य लाइब्रेरियन नियुक्त किया गया था। वह एक प्रसिद्ध गणितज्ञ, खगोलविद और भूगोलविद था। इरातोस्थेनेस की भूगोल की पुस्तक इतनी महत्वपूर्ण थी कि सौ साल बाद जूलियस सीज़र ने भी कुछ आवश्यक जानकारी पाने के लिए इस पुस्तक का उपयोग किया था। गणित के क्षेत्र में उसने अभाज्य संख्यों को खोजने का एक तरीका ढूंढा, जिसे आज भी "इरातोस्थेनेस की छलनी" के नाम से जाना जाता है। इरातोस्थेनेस एक कवि और इतिहासकार भी था। उसे ग्रीक भाषा के दूसरे अक्षर "बीटा" का नाम दिया गया था, क्योंकि उसे संसार का दूसरा सबसे विद्वान व्यक्ति माना जाता था। आर्किमिडीज़ को वर्णमाला के पहले अक्षर "अल्फा" का नाम दिया गया था, क्योंकि उसे उस समय का विश्व भर में सबसे अधिक विद्वान व्यक्ति माना जाता था।

३. बलशाली मशीनें

अनियमित ज्यामितीय आकृतियों का क्षेत्रफल पता करने का आर्किमिडीज़ का तरीका। वह एक तराज़ू का प्रयोग करके अनियमित आकृति और एक ज्ञात क्षेत्रफल वाली आकृति, जैसे कि त्रिभुज या वर्ग, की तुलना करता था।

अलेक्सांद्रिया में अपनी पढ़ाई पूरी करके आर्किमिडीज़ सिराक्यूज़ वापस लौट आया, और एक अध्ययन और चिंतन-मनन का जीवन बिताने लगा। वह ज्यामिति के चित्रों को अपने घर के फर्श पर रेत में खेंचता, और घंटों उन्हें देखता सोच-विचार में डूबा रहता। अक्सर वह किसी समस्या का हल ढूंढने में इतना खो जाता कि उसे अपने शरीर तक का ध्यान न रहता। उसके सेवक उससे नहाने धोने के लिए अनुरोध करते। लेकिन नहाते समय भी वह अपनी गीली त्वचा पर ही चित्र बनाने लगता।

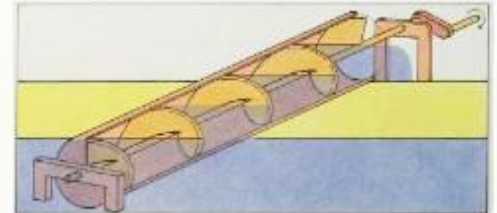
यद्यपि ज्यामिति और गणित उसे सर्वाधिक प्रिय थीं, वह एक व्यावहारिक वैज्ञानिक भी था। वह अक्सर ज्यामिति के प्रश्नों के उत्तर प्रयोगात्मक रूप से खोजता था। इससे इस बात का परीक्षण हो जाता था कि प्राकृतिक जगत के बारे में कोई धारणा सही है या नहीं।

ऐसे प्रयोगों में शब्दों या चित्रों के स्थान पर भौतिक वस्तुओं का इस्तेमाल किया जाता था। आजकल तो सभी वैज्ञानिक अपने सिद्धांतों का प्रयोगात्मक परिक्षण करते हैं, परन्तु आर्किमिडीज़ के समय में अधिकांश लोगों का मानना था कि बौद्धिक चिंतन-मनन ही नई खोज करने का एकमात्र साधन है। इस प्रकार के प्रयोग करने वाला पहला वैज्ञानिक शायद आर्किमिडीज़ ही था।

आर्किमिडीज़ ने गणित के सिद्धांतों का भी प्रयोगात्मक परीक्षण करने का उपाय ढूंढा। उसने इस उपाय को "मैथड" का नाम दिया था। उदहारण के लिए, किसी अनियमित ज्यामितीय आकृति का क्षेत्रफल निकलने के लिए वह उसे एक तराज़ू की डंडी के एक ओर लटकाता, और दूसरी ओर एक ऐसी आकृति को लटकाता जिसका क्षेत्रफल उसे पता होता, जैसे कि कोई चतुर्भुज। फिर वह चतुर्भुज को दाएं-बाएं खिसकाता, जब तक कि तराज़ू की डंडी समतल न हो जाती। फिर वह दोनों आकृतियों की तुला के मध्य से दूरी नापता। यदि अज्ञात क्षेत्रफल वाली आकृति की दूरी चतुर्भुज की दूरी से दोगुनी होती, तो इसका अर्थ था कि उस आकृति का क्षेत्रफल चतुर्भुज से आधा था।

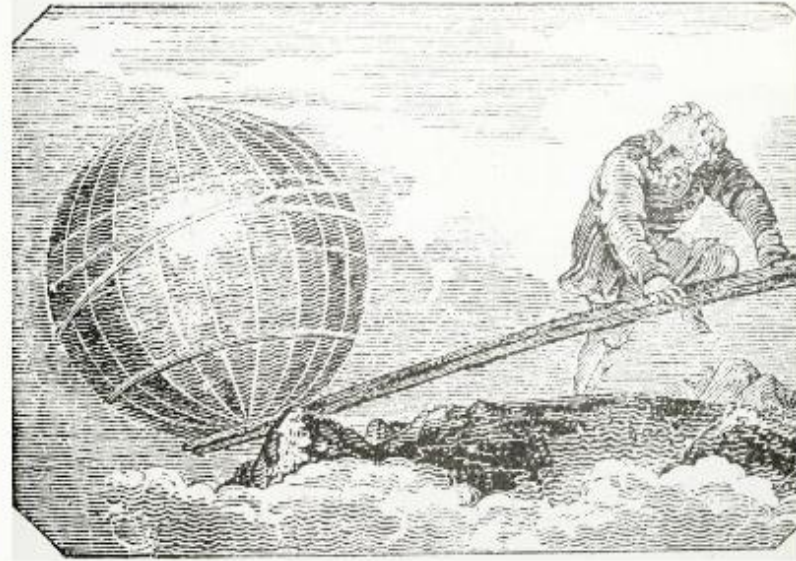
इस प्रकार आर्किमिडीज़ ने पता लगाया कि एक वृत्त का क्षेत्रफल उस समकोण त्रिभुज के क्षेत्रफल के बराबर है, जिसकी एक भुजा वृत्त की परिधि के बराबर हो, और दूसरी वृत्त की त्रिज्या के बराबर। आर्किमिडीज़ को पता था कि ऐसे प्रयोगों को गणित के सिद्धांतों का प्रमाण नहीं माना जा सकता, वे केवल प्रश्नों के उत्तर की ओर इशारा भर कर सकते थे। इस प्रकार के प्रयोगों से जो निष्कर्ष निकलते, वह उनको ज्यमिति के द्वारा सिद्ध करने का प्रयास अवश्य करता।

आर्किमिडीज़ की व्यावहारिक क्षमताओं का उसके मित्र राजा हायरॉन ने समुचित प्रयोग किया। एक बार राजा के लिए बनाई गई एक बड़ी नौका तेज़ वर्षा के बाद पानी से भर गई।

आर्किमिडीज़ का पेंच, जिसको घुमाने से पानी को ऊपर उठाया जा सकता है। यह एक सामान्य मशीन है, क्योंकि थोड़ा बल लगा कर ही बहुत से पानी को ऊपर खेंचा जा सकता है।

इतनी बड़ी नौका को से पानी बाहर निकलने का कोई कारगर तरीका नहीं मिल रहा था। फिर आर्किमिडीज़ ने एक उपाय खोजा। उसने एक चौड़ी खोखली नली का इस्तेमाल करके एक मशीन बनाई, जिसमे नली के ही व्यास का एक पेंचनुमा पुर्ज़ा लगाया गया, जिसे हत्थे द्वारा एक ओर से घुमाया जा सकता था। जब इस यंत्र के निचले सिरे को नौका में उतार कर हत्थे को घुमाया गया, पानी नौका से बाहर आकर धरती पर गिरने लगा।

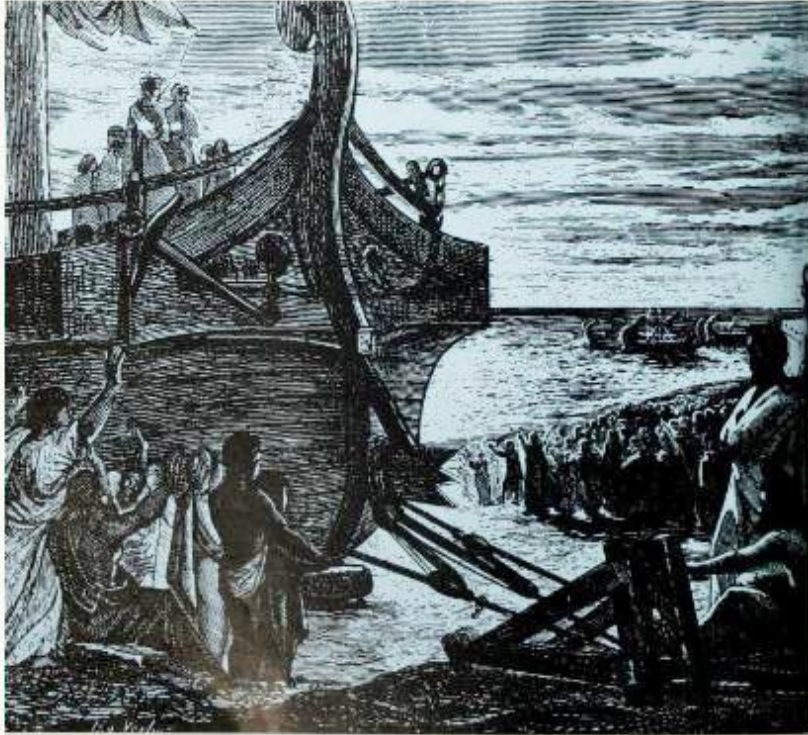
आर्किमिडीज़ के पेंच का आज भी इस्तेमाल होता है। यहाँ मिस्र का एक किसान उसका उपयोग अपने खेत की सिंचाई के लिये कर रहा है।

ऐसे यंत्र, जिन्हे आर्किमिडीज़ का पेंच कहा जाता है, जल्दी ही पूरे मिस्र में नहरों से खेतों में पानी भरने के लिए लोकप्रिय हो गए। आज भी इनका इस्तेमाल किया जाता है। यह एक सामान्य सी मशीन थी, और जल्दी ही आर्किमिडीज़ ऐसी और मशीनों का आविष्कार करने लगा।

कहते हैं कि आर्किमिडीज़ ने यह गर्वोक्ति की थी कि वह लीवर के द्वारा पृथ्वी को भी हिला सकता है। लेकिन ऐसा करने के लिए उसने पृथ्वी के अतिरिक्त खड़े होने का कोई स्थान भी माँगा था। उसकी इस समुचित मांग को इस चित्र में कलाकार ने पूरा कर दिया है।

उसने पाया कि एक और सामान्य यंत्र जिसे हम लीवर या उत्तोलक कहते हैं, का उपयोग भारी वज़नों को आसानी से उठाने के लिए किया जा सकता है। लीवर में एक मज़बूत डंडा या सरिया होता है, जिसे किसे पत्थर या अन्य मज़बूत धुरी पर टिकाया जाता है, जिससे कि सरिया ऊपर नीचे हो सके। यदि एक भारी बोझ को सरिया की धुरी के नज़दीक वाले सिरे पर रखा जाये, तो दूसरे सिरे पर, जो कि धुरी से दूर हो, थोड़ा बल लगा कर भी बोझ को उठाया जा सकता है। आर्किमिडीज़ का दावा था : "यदि कोई मुझे पर्याप्त लम्बाई का लीवर दे सके, तो मैं धरती को भी हिला सकता हूँ।"

राजा हायरॉन को लगा कि आर्किमिडीज़ यूँ ही लम्बी चौड़ी हाँक रहा है, और उसकी परीक्षा लेने का निश्चय किया। सिराक्यूज़ बंदरगाह के निकट एक बहुत बड़ा जहाज़ समुद्र तट की बालू में फँस गया था।

तीन मस्तूलों वाला यह जहाज़ यात्रियों और सामान से भरा होने के कारण इतना भारी था कि मज़दूरों की पूरी की पूरी सेना भी उसे हिला तक न सकी। राजा ने आर्किमिडीज़ से कहा: "इस जहाज़ को हिला कर दिखाओ, तो मैं तुम्हारी बात पर विश्वास करूँ।" लेकिन आर्किमिडीज़ ने इस "असंभव" चुनौती से निपटने के लिए लीवर के बजाय घिरनियों का प्रयोग करने का निश्चय किया। घिरनी एक ऐसा यंत्र है जिसमें धुरी पर लटके एक खांचेदार पहिये के ऊपर रस्सी चढ़ी होती है। रस्सी को खेंचने पर घिरनी उस बल को कई गुना बढ़ा देती है।

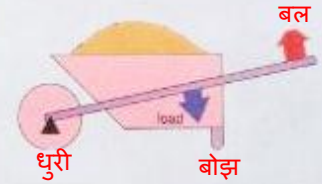
आर्किमिडीज़ का घिरनियों के प्रयोग से एक बड़े जहाज़ को खेंचना। ऐसे कारनामों ने ही आर्किमिडीज़ को पूरे ग्रीक जगत में प्रसिद्ध कर दिया।

लीवरों के प्रकार

लीवर एक सामान्य यंत्र है। इसमें एक मज़बूत सरिया को एक धुरी पर टिकाया जाता है। सरिया के एक सिरे को दबा कर दूसरे सिरे पर टिके बोझ को उठाया जा सकता है।

लीवर तीन प्रकार के होते हैं। पहले में धुरी की स्थिति बोझ और लगाए जाने वाले बल के बीच होती है। इस प्रकार के लीवर का एक उदहारण है सब्बल (crowbar)।

दुसरे प्रकार के लीवर में एक सिरे पर धुरी होती है, और बल दूसरे सिरे पर। बोझ की स्थिति इन दोनों के बीच होती है। इस प्रकार के लीवर का उदहारण है एक पहिये वाली गाड़ी।

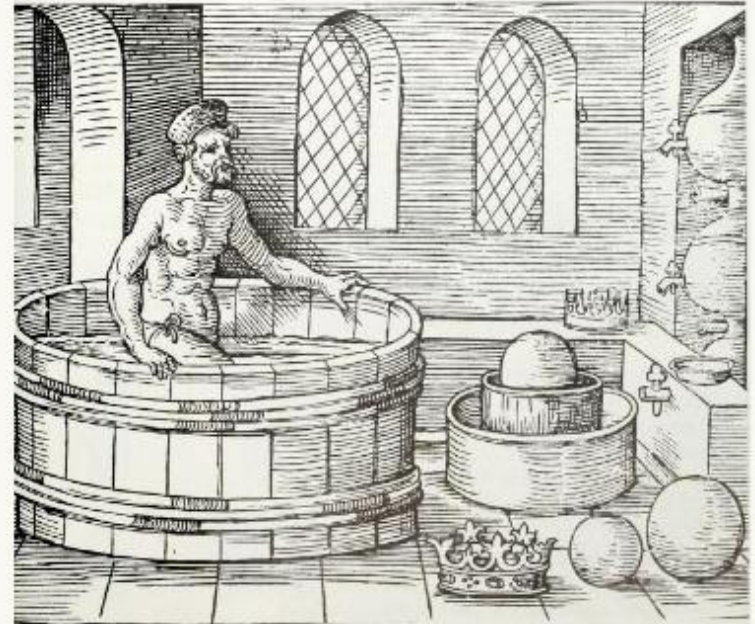
तीसरे प्रकार के लीवर में धुरी एक सिरे पर होती है और बोझ दूसरे सिरे पर। बल को इन दोनों के बीच लगाया जाता है। इसका उदहारण है उत्खनक (excavator)।

जिस लीवर में थोड़ा बल लगाकर बड़े बोझ को उठाया जा सके, ऐसे लीवर को धनात्मक यांत्रिक लाभ वाला लीवर कहा जाता है।

आर्किमिडीज़ ने एक संयुक्त घिरनी बनाई, जिसमें बहुत सी घिरनियों का प्रयोग किया गया था, जिससे लगाया गया बल बहुत अधिक बढ़ जाता था। इस संयुक्त घिरनी की रस्सी के एक सिरे को उसने जहाज़ से बांध दिया। राजा के आश्चर्य का ठिकाना न रहा, जब ऑर्किडेमीज़ ने रस्सी के दूसरे सिरे को खेंच कर जहाज़ को आसानी से पानी में उतार दिया। इस प्रकार के प्रदर्शनों द्वारा ही आर्किमिडीज़ ने "मैकेनिक्स" यानि मशीनों के विज्ञान को जन्म दिया।

घिरनी एक सामान्य मशीन है, जिसके द्वारा थोड़ा बल लगा कर भी भारी वज़नों को उठाया जा सकता है।

४. राजा हायरॉन का मुकुट

एक दिन राजा हायरॉन ने आर्किमिडीज़ को एक बहुत कठिन समस्या हल करने को कहा। उसने उसे एक मुकुट दिया और कहा: "क्या तुम यह सिद्ध कर सकते हो कि यह मुकुट शुद्ध सोने का बना है? शर्त यह है कि मुकुट को कोई क्षति नहीं पहुंचनी चाहिये।" उस मुकुट को बनानेवाले सुनार का कहना था कि उसे जो सोना दिया गया था, उसने सारा मुकुट बनाने में प्रयोग कर लिया था। लेकिन राजा हायरॉन को संदेह था कि सुनार ने कुछ सोना चुरा कर उतने ही वज़न की चांदी उसमें मिला दी है।

आर्किमिडीज़ का एक पुराना चित्र, अपने स्नान के टब में राजा हायरॉन के मुकुट की समस्या पर चिंतन में डूबा हुआ।

आर्किमिडीज़ राजा हायरॉन को बताते हुए कि उसका नया मुकुट शुद्ध सोने का नहीं है।

आर्किमिडीज़ मुकुट को घर ले गया, और बैठा उसे घूरता रहा। क्या करूँ, उसे कुछ समझ नहीं आ रहा था। उसने मुकुट का वज़न तौला। फिर उसने सोने के उस टुकड़े को तौला जैसा कि सुनार को दिया गया था। निश्चय ही, दोनों का वज़न एकदम बराबर था। कई दिनों तक वह इस समस्या से जूझता रहा। फिर एक शाम, जब वह नहा रहा था, अचानक ही उसे उत्तर मिल गया। उसके सेवकों ने उसके नहाने के टब को पानी से लबालब भर दिया था। जब आर्किमिडीज़ टब में उतरा, तो कुछ पानी टब से निकल कर स्नानगृह के फर्श पर गिर गया। वह अचानक ज़ोर से चिल्लाया, और टब से बाहर कूदा।

यह भूल कर कि वह नंगा था, "यूरेका-यूरेका" चिल्लाते हुए वह महल की ओर जाने वाली सड़क पर दौड़ने लगा। ग्रीक भाषा में यूरेका का अर्थ होता है, "मुझे मिल गया।" आर्किमिडीज़ को अचानक यह समझ आ गया था कि जब किसी वस्तु को पानी में डुबोया जाता है, तो वह अपने आयतन के बराबर पानी को हटाती है।

अपनी खोज को प्रदर्शित करने के लिए उसने राजा से कहा कि वह पानी से लबालब भरे एक पात्र का इंतेज़ाम करे। इस पात्र को एक बड़े तसले में रखा गया था, जिसमें पात्र से गिरने वाला पानी एकत्र हो सके। फिर आर्किमिडीज़ ने मुकुट को पानी से भरे पात्र में डुबोया। कुछ पानी निकल कर तसले में गिर गया। इस पानी के आयतन को सावधानी पूर्वक नापा गया। फिर पात्र को दोबारा पानी से भर कर सोने के टुकड़े को उसमें डुबोया गया। फिर से कुछ पानी बाहर निकला, जिसको फिर नापा गया। राजा को यह देख कर बड़ा आश्चर्य हुआ कि मुकुट के मुकाबले सोने के टुकड़े द्वारा हटाया गया पानी मात्रा में कम था। "राजा हायरॉन", आर्किमिडीज़ ने कहा, "इससे सिद्ध होता है कि सुनार ने धोखा दिया है। मुकुट और सोने के टुकड़े का वज़न एकदम बराबर है। इसलिए अगर दोनों शुद्ध सोने के होते, तो एकदम बराबर पानी हटाते।"

आर्किमिडीज़ ने स्पष्ट किया कि चांदी सोने से हलकी होती है, इसलिए वज़न को बराबर रखने के लिए मिलाई गई चांदी का आयतन सोने से अधिक था। इसलिए मुकुट का आयतन भी बराबर वज़न के सोने के आयतन से थोड़ा अधिक था। इसी कारण मुकुट डुबोने पर थोड़ा अधिक पानी बाहर गिरा।

पानी में डुबोने से वस्तुओं का वज़न कम हो जाता है।

हवा की अपेक्षा पानी में डुबोने से वस्तुओं का वज़न कम हो जाता है। पानी उन पर ऊपर की ओर एक बल लगाता है, जिसे उत्प्लावक बल कहते हैं, और जो वस्तुओं को सहारा देता है।

फिर आर्किमिडीज़ ने वस्तुओं को पानी में डुबोने वाले कई और प्रयोग किये। उसने पाया कि पानी या अन्य द्रवों में डुबोने पर वस्तुओं का वज़न कम हो जाता है।

जिस द्रव में उसे डुबोया जाये, वह उस वस्तु पर ऊपर की दिशा में एक बल लगाता है। इस बल को "उत्प्लावक बल" (buoyancy force) कहते हैं। फिर आर्किमिडीज़ ने खोज की कि यह बल सदा उस वस्तु द्वारा हटाए गए द्रव के भार के बराबर होता है। आर्किमिडीज़ की यह खोज जग-प्रसिद्ध हो गई, और आज इसे आर्किमिडीज़ के सिद्धांत के नाम से जाना जाता है।

द्रवों का घनत्व

आर्किमिडीज़ ने पाया कि नमक घुले पानी का उत्प्लावक बल शुद्ध पानी की अपेक्षा अधिक था। इसका कारण है कि नमक घोलने से पानी का घनत्व बढ़ जाता है। अर्थात बराबर आयतन के नमक घुले पानी का भार शुद्ध पानी की अपेक्षा अधिक होता है।

आर्किमिडीज़ ने हाइड्रोमीटर नाम का एक यंत्र बनाया, जिससे किसी द्रव का घनत्व मापा जा सकता था। यानि बराबर आयतन के शुद्ध पानी की अपेक्षा वह द्रव कितना अधिक भारी है। इस यन्त्र को एक पतली नली से बनाया जाता है, जिसके एक सिरे पर कोई वज़नी वस्तु भर दी जाती है, जिससे कि यह नली द्रव में खड़ी-खड़ी तैर सके। अधिक घनत्व वाले द्रव में तैराने पर नली का अधिक भाग हवा में निकला रहता है, और कम घनत्व वाले द्रव में कम भाग बाहर निकलता है । यदि नली के ऊपर एक पैमाने की तरह मापने के निशान बना दिए जाएँ, तो इसके द्वारा विभिन्न द्रवों का घनत्व नाप कर उनकी तुलना की जा सकते है।

आर्किमिडीज़ को अब समझ आया कि इतने भारी होने के बावजूद जहाज़ पानी पर कैसे तैरते हैं। जैसे ही जहाज़ का निचला हिस्सा पानी में उतरता है, पानी का उत्प्लावक बल जहाज़ के भार को संभाल लेता है।

इजराइल में स्थित मृत सागर में तैरना बहुत आसान है। पानी में नमक की मात्रा अधिक होने के कारण उसका घनत्व बहुत अधिक है, जिससे उत्प्लावक बल भी बहुत बढ़ जाता है।

आर्किमिडीज़ ने ठोस पदार्थों का घनत्व मापने का उपाय भी खोजा। वह ठोस वस्तु का भार हवा में मापता, और फिर पानी में डुबो कर। हवा में वस्तु के भार को पानी में डुबोने से उसके भार में आई कमी से भाग करके उसका घनत्व निकला जा सकता है। यानि वह वस्तु अपने बराबर आयतन के पानी के मुकाबले कितने गुना भारी है, यही उसका घनत्व है। उसने पाया कि शुद्ध पदार्थ का घनत्व सदा एक सा ही होता है। इस प्रकार पदार्थ का घनत्व नाप कर वह बता सकता था कि उसमें मिलावट है या नहीं। अतः इन सब प्रयोगों के बाद उसने राजा हायरॉन के मुकुट का परीक्षण करने का एक और साधन खोज लिया था। पहले मुकुट तो हवा में तौला जाये, और फिर पानी में। फिर शुद्ध सोने को हवा और पानी में तौला जाये। यदि मुकुट का सोना शुद्ध है, तो उसके भार में आनुपातिक रूप से उतनी ही कमी आएगी, जितनी कि शुद्ध सोने के टुकड़े में।

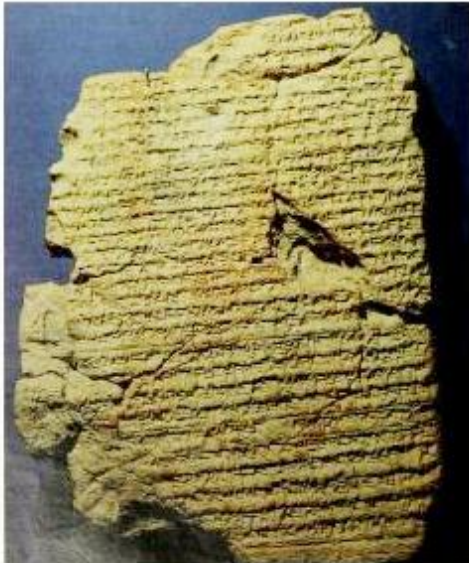
गर्म हवा से भरे गुब्बारे हवा में तैरते रहते हैं, क्योंकि उनमें भरी गर्म हवा का घनत्व चारों ओर की ठंडी हवा की अपेक्षा कम होता है। बाहर की ठंडी हवा गुब्बारे पर एक उत्प्लावक बल लगाती है जिससे वह ऊपर उठने लगता है।

५. सितारों का अध्ययन

खगोलशास्त्र एक बहुत प्राचीन विज्ञान है। लगभग ३००० वर्ष पूर्व मिस्र और बेबीलोन के लोग इस बात का विस्तृत लेखा-जोखा रखते थे कि किस मौसम में कौन से सितारे दिखाई दे रहे हैं। इससे उन्हें अपनी फसलों की बुवाई सही समय पर करने में मदद मिलती थी। मिस्र के लोगों ने सितारों का अध्ययन करके ही पिरामिडों का निर्माण उत्तर-दक्षिण दिशा की सीध में किया था। अन्य सभ्यताएं, जैसे कि चीन और भारत की, भी खगोलशास्त्र में रुचि रखती थीं।

प्राचीन मिस्र के पुजारी ग़िज़ा के महान पिरामिड की खिड़की से सितारों का अध्ययन करते हुए।

सर्वप्रथम ग्रीस के लोगों ने एक वैज्ञानिक ढंग से खगोलशास्त्र का अध्ययन किया। ४५० ईसापूर्व में एथेंस के अनेक्सागोरस ने सुझाया कि सूर्य एक जलती हुई चट्टान है, जो कि पृथ्वी से बहुत बड़ी है, और चन्द्रमा धरती की भांति सूर्य की ही रौशनी से चमकता है। यह विचार उन दिनों एकदम नए थे, क्योंकि प्राचीन काल के लोग सितारों को देवता मानते थे।

ग्रह , जोकि प्रकाश के बिंदुओं के समान सितारों के बीच चलते नज़र आते थे, उनका नामकरण रोम के देवी-देवताओं पर कर दिया गया। सबसे छोटे और तेज़ी से चलने वाले गृह का नाम बुध (Mercury) रखा गया, जो कि देवताओं के संदेशवाहक थे। और जो सबसे चमकदार था, उसका नाम शुक्र (Venus) रखा, जो कि सौंदर्य की देवी थी। लाल रंग के गृह को मंगल (Mars) यानि युद्ध के देवता का नाम दिया गया। सबसे बड़े गृह को बृहस्पति (Jupiter) का नाम दिया गया, क्योंकि वह देवताओं के राजा थे। चूँकि शनि (Saturn) बहुत धीमे चलता था, उसका नामकरण उस देवता पर किया गया जो समय की गति को रोक सकता था।

१६४ ईसापूर्व में बेबीलोन के खगोल-शास्त्रियों द्वारा मृत्तिका पत्र पर अंकित शनि ग्रह की चाल के अध्ययन का लेखा-जोखा

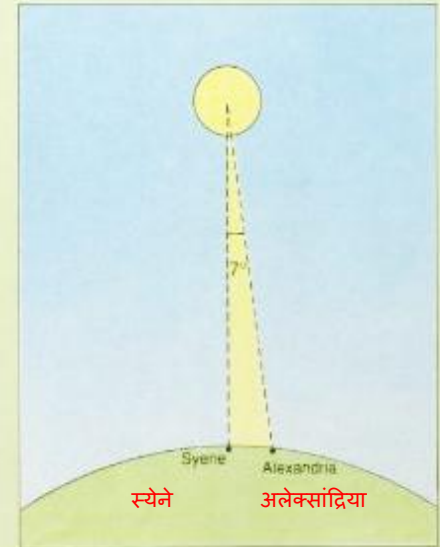
अलेक्सांद्रिया में सितारों का अध्ययन करता हुआ एक खगोलविद। वह सितारों के बीच के कोणों और दूरियों को नापने के लिए एक सामान्य उपकरण का प्रयोग कर रहा है। पास ही फर्श पर सितारों की स्थिति दर्शाने वाला एक मॉडल रखा है।

लगभग ४०० ईसापूर्व में युदोक्सुस नाम का एक दार्शनिक था जो, जहाँ अब टर्की देश है, उसके समुद्र तट पर स्थित क्निडोस शहर में रहता था। उसका कहना था कि सितारे कई पारदर्शी गोलाकार मंडलों में जड़े हुए हैं, और ये मंडल पृथ्वी के चारों ओर घूमते रहते हैं। आर्किमिडीज़ ने एक मॉडल तारामंडल (planetarium) बनाया, जो नक्षत्रों की चाल को दिखाता था। यह मॉडल कांच के गोलों से बनाया गया था, जो कि एक दूसरे के अंदर स्थित थे, और इनको गिरते हुए पानी से गतिमान किया जाता था। पृथ्वी इस मॉडल के बीचो-बीच स्थित थी, और हरेक गोले पर एक ग्रह अंकित था। जब यह गोले गतिमान होते थे, ग्रहों की चाल को देखा जा सकता था।

रोमन देवता मंगल (Mars) की एक प्रतिमा, जिसके नाम पर एक ग्रह का नाम रखा गया है। वह युद्ध का देवता था।

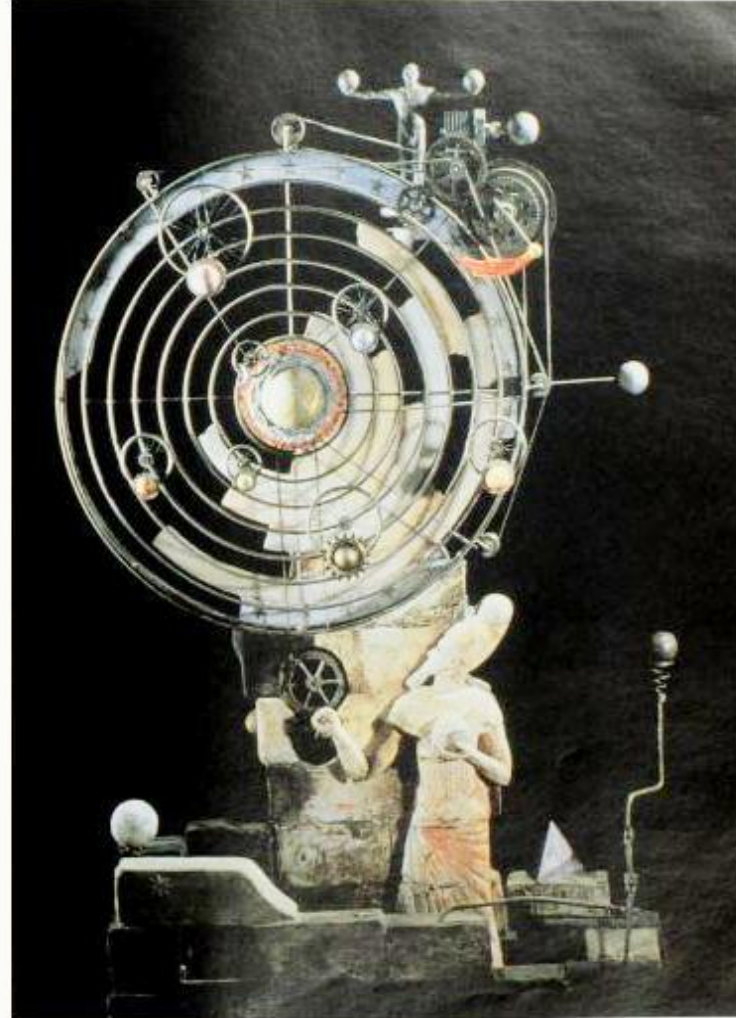
आर्किमिडीज़ ने सूर्य के आकार का अनुमान लगाने के लिए भी एक उपकरण बनाया। यह एक लम्बी छड़ी से बनाया गया था, जिसके एक सिरे पर एक छोटी गोल चकती लगी थी। सूर्योदय के समय इस छड़ को सूर्य की दिशा में ताना जाता था। सूर्योदय के समय इसलिए क्योंकि इसी समय बिना किसी हानि के सूर्य की ओर देखा जा सकता था। चकती को छड़ पर आगे-पीछे किया जाता था, जब तक कि वह सूर्य को ठीक-ठीक ढक सके, यानि सूर्य और चकती द्वारा आँख में बनाया गया प्रतिबिम्ब बिलकुल एक बराबर हो। अपनी आँख से चकती की दूरी को नाप कर आर्किमिडीज़ ने सूर्य के गोले द्वारा बनाया गया कोण, और इस प्रकार उसकी चौड़ाई का आकलन कर लिया।

पृथ्वी की परिधि का आकलन

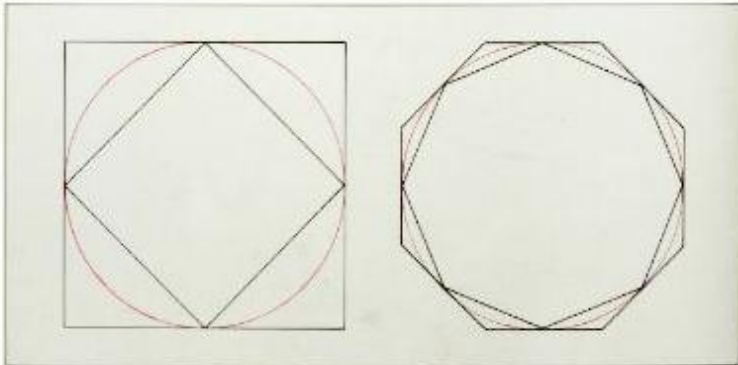
आर्किमिडीज़ के मित्र इरातोस्थेनेस ने पृथ्वी की परिधि का आकलन किया था। अलेक्सांद्रिया से ८०० किलोमीटर दक्षिण में स्येने नाम का शहर स्थित है। इरातोस्थेनेस ने पाया कि जब ग्रीष्म ऋतु अपने चरम पर थी, ठीक दोपहर १२ बजे स्येने शहर में सूर्य एकदम सर के ऊपर होता है, लेकिन अलेक्सांद्रिया शहर में ठीक उसी समय सूर्य ऊर्ध्व से ७ डिग्री के कोण पर होता है। क्योंकि पूरे वृत्त में ३६० डिग्री होती हैं, ७ डिग्री उसका लगभग पचासवां भाग हुआ। इससे इरातोस्थेनेस ने आकलन किया कि पृथ्वी की परिधि स्येने से अलेक्सांद्रिया की दूरी की लगभग पचास गुनी, यानि करीब ४०००० किलोमीटर होनी चाहिए। निश्चय ही यह परिणाम वास्तविक दूरी के बहुत ही निकट था। आधुनिक माप के अनुसार पृथ्वी की परिधि ४०२३२ किलोमीटर है।

आर्किमिडीज़ ने अनुमान लगाया कि सूर्य चन्द्रमा की अपेक्षा कम से कम तीस गुना बड़ा है। लेकिन उसका आकलन युदोक्सुस के आकलन से मेल नहीं खाता था, जिसके अनुसार सूर्य चन्द्रमा से केवल नौ गुना बड़ा था। आर्किमिडीज़ के पिता फीडिअस ने भी सूर्य के आकार का अनुमान लगाया था। उनके अनुसार वह चन्द्रमा से बारह गुना बड़ा था। वास्तव में ये सारे ही अनुमान पूरी तरह गलत थे, और सूर्य असल में चन्द्रमा से ६.४ करोड़ गुना बड़ा है। हम शायद उनके गलत अनुमानों को तिरस्कार की दृष्टि से देखें, लेकिन हमें ध्यान रखना चाहिये कि उनके पास आज की सी दूरबीनें और अन्य परिष्कृत यंत्र नही थे।

आर्किमिडीज़ के मित्र इरातोस्थेनेस ने आकलन किया था कि पृथ्वी की परिधि लगभग ४०००० किलोमीटर है। आर्किमिडीज़ ने इसका उपयोग एक अन्य उल्लेखनीय गणना के लिए किया। वह ग्रीस के निवासियों को यह सिद्ध करके दिखाना चाहता था कि बहुत बड़ी संख्याओं से भी गणना की जा सकती है। तुम्हें याद होगा की संख्याओं को लिखने की ग्रीक पद्धति बड़ी गणनाओं के लिए बड़ी असुविधाजनक थी। इसलिए आर्किमिडीज़ ने एक नए प्रकार की संख्या, आर्डर नंबर (order number), का आविष्कार किया। इनको उसी प्रकार लिखा जाता है, जैसे आजकल के वैज्ञानिक बड़ी संख्याओं को लिखते हैं। आर्किमिडीज़ ने यह आकलन करने की भी कोशिश की कि पूरे ब्रह्माण्ड को भरने के लिए कितने बालू के दानों की आवश्यकता होगी। पहले उसने यह गणना की कि पूरी पृथ्वी के आयतन को भरने के लिए कितने दाने चाहिए। फिर उसने अनुमान लगाया कि सूर्य के आयतन में कितनी पृथ्वियां भरी जा सकती हैं। फिर उसने आकलन किया कि उसके तारामंडल के ग्रहों वाले मंडल में कितने सूर्य आ सकते हैं। फिर इस संख्या को उसने १०००० से गुणा कर दिया, क्योंकि उसके अनुसार तारों वाला मंडल ग्रहों वाले मंडल से १०००० गुना बड़ा था। इस गणना के अंत में उसे एक बहुत बड़ी संख्या प्राप्त हुई। आज यदि हम इस संख्या को लिखें तो इसमें १० के आगे ६३ शून्य और लगाने होंगे। परन्तु चूँकि ग्रीक लोगों के पास शून्य के लिए कोई अंक नहीं था, आर्किमिडीज़ को यह संख्या शब्दों में लिखनी पड़ी।

ये गणनाएं इसलिए महत्वपूर्ण थीं क्योंकि इनसे यह अवगत होता था कि संख्याएं कितनी भी बड़ी हो सकती हैं। और यह भी, कि संख्याएं कितनी भी बड़ी क्यों न हों, हम अपनी गणनाओं और आकलनों में उनका प्रयोग कर सकते हैं।

अगले पृष्ठ पर : इस तारामंडल में, जो कि सौर मंडल का एक प्रतिरूप है, मिस्र का खगोलविद टॉलेमी एक हत्थे को घुमा रहा है जिससे कि ग्रह पृथ्वी के चारों ओर परिक्रमा लगा रहे हैं। टॉलेमी, जिसका जीवनकाल १०० से १७८ ईस्वी तक था, ने अरस्तु की इस धारणा को आगे बढ़ाया कि पृथ्वी ब्रह्माण्ड के केंद्र में स्थित है, और सूर्य, चन्द्रमा और तारे उसके चारों ओर परिक्रमा करते हैं। केवल १५४३ ईस्वी में जाकर ही पोलिश खगोलविद निकलॉस कॉपरनिकस ने यह सिद्ध किया कि पृथ्वी और दुसरे ग्रह सूर्य की परिक्रमा करते हैं।

६. आर्किमिडीज़ और गणित

आर्किमिडीज़ को सर्वाधिक प्रेम गणित से, और विशेष रूप से ज्यामिति से था। उसके प्रिय विषय थे वक्र रेखाओं का अध्ययन करना, उनके अंदर के क्षेत्रफल की गणना करना, और ठोस आकृतियों के आयतन का आकलन करना।

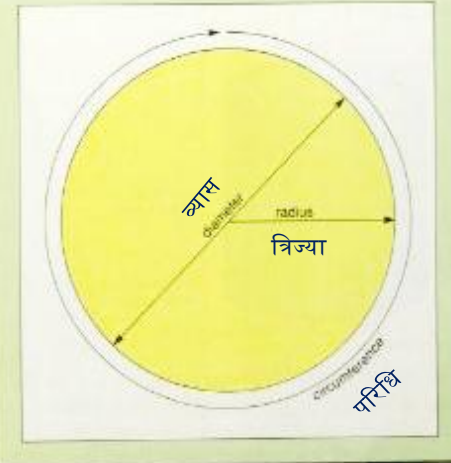
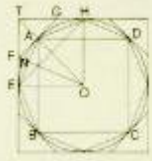
उसने वृत्त के क्षेत्रफल का एकदम सही आकलन करने का तरीका खोजा। मिस्र के प्राचीन विद्वानों ने भी इसका एक तरीका खोजा था, लेकिन वह पूरी तरह ठीक नहीं था। वे लोग वृत्त के बाहर उसे छूता हुआ एक वर्ग बनाते थे, और ऐसा ही एक छोटा वर्ग वृत्त के अंदर। फिर वे दोनों वर्गों का क्षेत्रफल निकालते। निश्चय ही वृत्त का क्षेत्रफल इन दोनों के बीच ही कहीं होना चाहिए। आर्किमिडीज़ ने भी इसी सिद्धांत को अपनाया, लेकिन उसने वर्गों के स्थान पर बहुभुजों का प्रयोग किया। उसने वृत्त के अंदर और बाहर ९६ भुजाओं वाले बहुभुज बनाये। इस प्रकार उसके बहुभुजों की भुजायें वर्ग की भुजाओं की अपेक्षा वृत्त की रेखा के बहुत करीब थीं। उसने पाया कि वृत्त की परिधि हमेशा उसके व्यास की २२/७ गुना होती थी। हम इस संख्या के लिए ग्रीक अक्षर π का प्रयोग करते हैं, जो कि वृत्त की परिधि और उसके व्यास का अनुपात व्यक्त करता है। आज π का सही मान, जिसका हम उपयोग करते हैं, वह है ३.१४१५९...। (π के अंत में लगाई गई बिंदियां यह बताती हैं कि इस संख्या के अंक कभी समाप्त नहीं होते।)

वृत्त का क्षेत्रफल पता करने के लिए मिस्र के लोग उसके बाहर और अंदर एक वर्ग खेंचते थे। वृत्त का क्षेत्रफल इन दोनों वर्गों के क्षेत्रफलों के बीच कहीं होता था (बाएं)। आर्किमिडीज़ ने वृत्त के अंदर और बाहर बहुभुज खेंच कर इस विधि को सुधारा (दाएं)

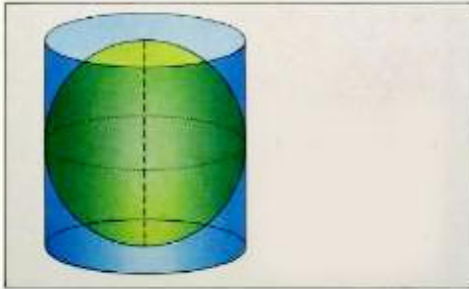
π की संख्या वृत्त की परिधि और उसके व्यास का अनुपात बताती है। यह अनुपात सभी वृत्तों में एक समान होता है, यानि ३.१४१५९...। वृत्त चाहे कितना भी बड़ा या छोटा क्यों न हो, उसकी परिधि सदा ही उसके व्यास के ३ गुने से थोड़ी अधिक होती है।

किसी वृत्त का क्षेत्रफल निकलने के लिए आपको पहले उसकी त्रिज्या की लम्बाई पता करनी होगी। त्रिज्या यानि उसके केंद्र से परिधि तक की दूरी। त्रिज्या व्यास की आधी होती है।

यदि किसी वृत्त की त्रिज्या की लम्बाई २ सेंटीमीटर है, तो उसका क्षेत्रफल निकलने के लिए पहले त्रिज्या को स्वयं से गुणा करें, यानि २ गुणा २ = ४ वर्ग सेंटीमीटर। और फिर इस संख्या को π से गुणा करें। इस प्रकार वृत्त का क्षेत्रफल होगा ४ x २२ /७ =१२.५७ वर्ग सेंटीमीटर।

बीजगणित में इस गणना को इस प्रकार लिखते हैं:

वृत्त का क्षेत्रफल = πr^2
(यहाँ r त्रिज्या का माप है)

आर्किमिडीज़ की पुस्तक से लिया गया वृत्त के विषय में एक चित्र। इस चित्र के द्वारा उसने सिद्ध किया कि वृत्त का क्षेत्रफल उस समकोणीय त्रिभुज के क्षेत्रफल के बराबर है, जिसकी एक भुजा वृत्त की त्रिज्या के बराबर हो, और दूसरी वृत्त की परिधि के बराबर।

आर्किमिडीज़ ने पाया कि π का मान ३.१४०५ और ३.१४२८ के बीच कहीं है, जो कि काफी सही है। (आज के गणितज्ञ π के मान की गणना वहुत ही शुद्धता पूर्वक करना चाहते हैं। अब कम्प्यूटर द्वारा इसकी गणना दशमलव के ४८ करोड़ स्थानों तक कर ली गई है।) लेकिन आर्किमिडीज़ का जन्म दशमलव के अविष्कार से बहुत पहले हुआ था, इसलिए वह π को एक अनुपात या भिन्न के रूप में ही व्यक्त कर सकता था।

आर्किमिडीज़ ने सिद्ध किया कि एक गोले का आयतन उस बेलनाकार (cylinder) के आयतन का दो-तिहाई है, जिसका व्यास और ऊंचाई दोनों गोले के व्यास के बराबर हों।

आर्किमिडीज़ ने सिद्ध किया था कि वृत्त का क्षेत्रफल उस समकोणीय त्रिभुज के क्षेत्रफल के बराबर है, जिसकी एक भुजा वृत्त की त्रिज्या के बराबर हो, और दूसरी वृत्त की परिधि के बराबर।

अपनी इस खोज और π के ज्ञान के द्वारा उसने वृत्त के क्षेत्रफल का सूत्र भी ढूंढ निकाला, जिसे हम आज भी प्रयोग करते हैं। यह सूत्र है :

वृत्त का क्षेत्रफल = $\pi.r^{२}$ (यहाँ r त्रिज्या का माप है)

आर्किमिडीज़ ने ठोस गोलों का भी अध्ययन किया। उसने सिद्ध किया कि गोले की सतह का क्षेत्रफल उतनी ही त्रिज्या वाले वृत्त के क्षेत्रफल का चार गुना होता है। उसने यह भी सिद्ध किया कि गोले का आयतन उस बेलनाकार (cylinder) के आयतन का दो-तिहाई है, जिसका व्यास और ऊंचाई दोनों गोले के व्यास के बराबर हों। यह परिणाम आर्किमिडीज़ को इतना प्रिय लगा कि उसने हिदायत दी कि उसके मरने के बाद इस सिद्धांत का चित्रण उसकी कब्र पर किया जाये।

आर्किमिडीज़ ने एलिप्स, पैराबोला और हाइपरबोला नामक वक्र रेखाओं का भी अध्ययन किया। इन वक्रों को कोनिक सेक्शन (conic sections) भी कहा जाता है, क्योंकि ये शंकु (cone) को काटने से प्राप्त होते हैं।

फिर उसने गोले के आयतन का सूत्र खोजा :
गोले का आयतन = (४/३) $\pi r^३$ (यहाँ r गोले की त्रिज्या का माप है)

आर्किमिडीज़ को भिन्नात्मक (fractional) संख्याओं के साथ गणना करना भी बहुत प्रिय था। एक दिन उसने अपने मित्र विद्वानों को एक प्रश्न हल करने को दिया। वह प्रश्न था :

सूर्य के पास बहुत सी गायें और बैल थे। उनमें से कुछ सफ़ेद थे, कुछ सलेटी, कुछ भूरे और कुछ चितकबरे। चितकबरे बैलों की संख्या सफ़ेद बैलों की संख्या से सलेटी बैलों की संख्या के ५/६ गुने से कम थी। चितकबरे बैलों की संख्या सलेटी बैलों की संख्या से भूरे बैलों की ९/२० गुना से कम थी। चितकबरे बैलों की संख्या भूरे बैलों की संख्या से सफ़ेद बैलों के ७/१२ गुने से कम थी। सफ़ेद गायों की संख्या सलेटी गायों और बैलों की कुल संख्या का ७/१२ गुना थी। सलेटी गायों की संख्या भूरे गाय और बैलों की कुल संख्या का ९/२० गुना थी। भूरी गायों की संख्या चितकबरी गायों और बैलों की कुल संख्या का ११/३० गुना थी। चितकबरी गायों की संख्या सफेद गायों और बैलों की कुल संख्या का १३/४२ गुना थी। तो हर प्रकार की गायों और बैलों की क्या-क्या संख्या थी ?

यह एक बहुत ही कठिन पहेली है। बीजगणित में बहुत निपुण व्यक्ति ही इसे हल कर सकता है। लेकिन ग्रीक लोगों को तो बीजगणित आता ही नहीं था। इसलिए आर्किमिडीज़ के मित्रों के लिए निश्चय ही इसे हल करना बड़ा मुश्किल रहा होगा। इस पहेली के एक नहीं अनेक सही उत्तर हैं, अर्थात उत्तर अनिश्चित (indeterminate) है। इन उत्तरों में सबसे छोटा है :

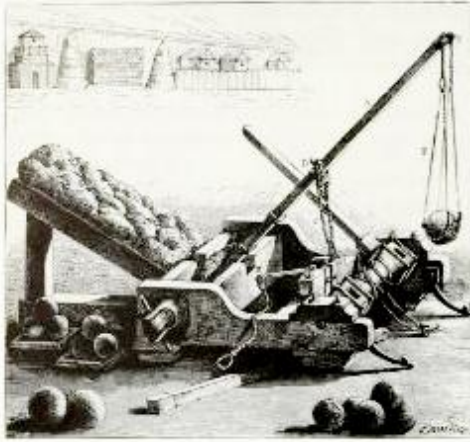
चितकबरे बैल = ४,१४९,३८७
सफ़ेद बैल = १०,३६६,४८२
भूरे बैल = ४,१४९,३८७
सलेटी बैल = ७,४६०,५१४
चितकबरी गायें = ५,४३९,२१३
संफेद गायें =७,२०६,३६०
भूरी गायें =३,५१५,८२०
सलेटी गायें = ४,८९३,२४६

कहा जाता है कि आर्किमिडीज़ ने जो उत्तर खोजा था वह इस उत्तर का ८० गुना था।

७. सिराक्यूज़ की घेराबंदी

२१६ ईस्वी में राजा हायरॉन का देहांत हो गया। नए राजा हिप्पोक्रेट्स ने कार्थेज से एक संधि की, जो कि अफ्रीका के समुद्र तट पर बसा एक बहुत विशाल नगर था। यह उस देश में स्थित था जिसे अब हम तुनिशिया कहते हैं। कार्थेज के लोग रोम के शत्रु थे, जो कि भूमध्य क्षेत्र की एक बड़ी शक्ति था। इसलिए रोमन लोगों ने सिराक्यूज़ पर आक्रमण करके वहां एक मित्र राजा को स्थापित करने का निर्णय लिया।

मार्सेलस नाम के एक प्रख्यात सेनाधिपति ने इस आक्रमण का नेतृत्व किया। वह एक अति विशाल सेना और ६० बड़े युद्ध पोतों को लेकर आक्रमण के लिए निकला। ये युद्धपोत इतने विशाल थे कि प्रत्येक को जहाज़ के दोनों ओर पांच-पांच कतारों में बैठे सौ से भी अधिक नाविक खे रहे थे। उनके पास विशाल गुलेलें थीं जिनके द्वारा बहुत बड़ी चट्टानों को शहर पर फेंका जा सकता था। युद्ध के लिए संबुका नाम की एक बहुत बड़ी मशीन बनाई गई थी। यह पहियों पर आरूढ़ एक बहुत बड़ी सीढ़ी थी, जिसके ऊपर एक पुल था जिसे शहर की दीवार पर टिकाया जा सकता था।

रोमन सेनापति मार्सेलस, जिसने २१२ ईस्वी में सिराक्यूज़ पर आक्रमण किया।

रोमन ओनेगेर (Onager), युद्ध में प्रयोग की जाने वाली गुलेल जिससे बहुत दूर तक पत्थरों को फेंका जा सकता था।

यह संबुका इतनी बड़ी थी कि आठ जहाज़ों को एक साथ बांध कर उनके ऊपर इसको ले जाया जाता था। मार्सेलस को विश्वास था कि वह आसानी से सिराक्यूज़ शहर को परास्त कर देगा, लेकिन उसे नहीं पता था कि उसका सामना आर्किमिडीज़ से होने वाला था।

ऐसा कहते हैं कि आर्किमिडीज़ ने कई विशालकाय दर्पण शहर की दीवार के ऊपर स्थापित कर दिए, और जब रोमन युद्ध-पोतों का बेड़ा करीब आया तो इन दर्पणों द्वारा सूर्य की किरणों को जहाज़ों पर केंद्रित किया गया। इससे इतनी गर्मी पैदा हुई कि जहाज़ धू-धू कर जलने लगे। अन्य जहाज़ों को आर्किमिडीज़ द्वारा बनाई गई गुलेलों से विशालकाय चट्टानें फ़ेंक कर नष्ट कर दिया गया।

संबुका का क्या हश्र हुआ, इसका वर्णन रोमन इतिहासकार प्लूटार्क ने इस प्रकार किया है : "जैसे ही संबुका शहर की दीवार के पास आने लगा, एक विशालकाय शिला आकर उस पर गिरी, फिर दूसरी, और फिर तीसरी। ये शिलाएं बड़े वेग से आईं, और बादलों के गरजने की सी आवाज़ के साथ संबुका से टकराईं, और उसके आधार के टुकड़े टुकड़े कर दिए, उसकी चूल-चूल हिल गई। वह पूरी तरह धवस्त होकर टुकड़े-टुकड़े हो समुद्र में जा गिरी।"

जो जहाज़ शहर के निकट आ सके, उन्हें विशालकाय लीवरों का प्रयोग करके लोहे के हुकों द्वारा समुद्र से ऊँचा उठा कर दोबारा समुद्र में फ़ेंक दिया गया।

मार्सेलस जल्द ही समझ गया कि उसका आक्रमण पूरी तरह विफल हो गया है, और वह अपनी सेना वापस शहर से सुरक्षित दूरी पर ले गया। "हम इस ज्यामिति के ब्रायरियस से और नहीं लड़ सकते, जो हमारे जहाज़ों को खिलौनों की तरह हवा में उछाल रहा है। जिस तरह वह दर्जनों पत्थर हम पर बरसा रहा है, वह पौराणिक कथाओं के सौ हाथों वाले दैत्य को भी मात कर रहा है", उसने कहा। ग्रीस की पौराणिक कथाओं में ब्रायरियस नाम के सौ हाथों वाले विशालकाय राक्षस का ज़िक्र आता है।

कुछ किंवदंतियों के अनुसार आर्किमिडीज़ ने विशाल दर्पणों का प्रयोग करके सूर्य की किरणों को रोमन जहाज़ों पर केंद्रित किया।

मार्सेलस ने शहर की घेराबंदी का निश्चय किया। सिराक्यूज़ को चारों ओर से घेर कर रसद की आवाजाही बंद कर दी गई। यह घेराबंदी तीन साल तक जारी रही। अंततः दीवार के कुछ हिस्से पर पहरा न होने का फायदा उठा कर रोमन सिपाही शहर के अंदर घुसने में कामयाब रहे।

जब वे सैनिक आर्किमिडीज़ के घर में घुसे, वह गणित की एक गुत्थी सुलझा रहा था। आर्किमिडीज़ को नहीं पता था कि रोमन सैनिक शहर में घुस आये हैं। वह चिल्लाया, "जाओ यहाँ से, मुझे अपना काम करने दो।" एक सिपाही ने, जो इस महान और प्रसिद्ध व्यक्ति को नहीं पहचानता था, अपनी तलवार निकली , और उसे मार डाला। जब मार्सेलस को यह पता चला, वह बहुत दुखी हुआ। उसने अपने सैनिकों को निर्देश दिए थे कि आर्किमिडीज़ को कोई नुकसान न पहुँचाया जाये। लेकिन अब बहुत देर हो चुकी थी। उसका अंतिम संस्कार बहुत सम्मानपूर्वक और शानदार तरीके के किया गया। उसकी इच्छा के अनुसार, उसकी कब्र के पत्थर पर गोले और बेलनाकार वाला ज्यामिति का चित्र बनाया गया, जिससे संसार उसके आविष्कारों को सदा याद रखे।

आर्किमिडीज़ का क्रो (crow), एक विशालकाय भुजा जैसा था। कहते हैं इसका प्रयोग सिराक्यूज़ की रक्षा के लिए आक्रमणकारियों के जहाज़ों को पलटने में किया गया था। इस चित्र में ऐसी ही तीन "भुजाओं" को शहर की रक्षा करते दिखाया गया है।

आर्किमिडीज़ की मृत्यु के दृश्य का पच्चीकारी से बना एक भित्ति-चित्र

आर्किमिडीज़ को आशा थी कि उसका कार्य आगे आने वाले विद्वानों के काम आएगा। विशेष रूप से उसे लगता था कि ज्यामिति के सिद्धांतो को खोजने की उसकी विधि "मेथड" बहुत महत्वपूर्ण है। दुर्भाग्य से उसकी इस विधि की जानकारी बहुत वर्षों तक संसार से ओझल रही, और भविष्य के विद्वानों के काम न आ सकी। लेकिन उसने जो सिद्धांत खोजे थे, वे आज भी महत्वपूर्ण हैं, जैसे कि वृत्त का क्षेत्रफल और गोले का आयतन बताने वाले सूत्र, और पाई का मान। इसके अतिरिक्त, ज्यामितीय आकृति का क्षेत्रफल निकलने की उसकी विधि का उपयोग आधुनिक गणितज्ञ आज भी करते हैं, और इसको "कैलकुलस" नाम की गणित की शाखा में शामिल कर लिया गया है, जिसका उपयोग सभी वैज्ञानिक अपने क्षेत्रों में अक्सर ही करते हैं।

आर्किमिडीज़ की मशीनों के बारे में प्रचलित कई कहानियों पर विश्वास कर पाना मुश्किल लगता है, लेकिन लीवर, घिरनी और आर्किमिडीज़ के पेंच का प्रयोग आज भी किया जाता है। और फिर आर्किमिडीज़ के सिद्धांत के बारे में तो हर कोई स्कूल में पढता है, जिससे हम सीखते हैं कि वस्तुएं पानी में क्यों तैरती हैं।

समय-रेखा

लगभग ५७० से ५०० ईसापूर्व	: पाइथागोरस ने सिखाया कि संख्याएं और ज्यामिति ही ब्रह्माण्ड को समझने की कुंजी हैं।
लगभग ५००-४२८ ईसापूर्व	: अनेक्सागोरस ने कहा कि सूर्य एक आग का गोला है जो पृथ्वी से भी बड़ा है, और चन्द्रमा पृथ्वी की ही भांति सूर्य के ही प्रकाश से चमकता है।
लगभग ४६०-३७० ईसापूर्व	: डेमोक्रिटस ने सुझाया कि सभी वस्तुएं नन्हे-नन्हे कणों से बनी हैं, जिन्हें परमाणु कहते हैं।
लगभग ४६०-३७७ ईसापूर्व	: हिप्पोक्रेट्स द्वारा चिकित्सा के क्षेत्र में वैज्ञानिक अध्ययन प्रारम्भ।
लगभग ४२७ से ३४७ ईसापूर्व	: ग्रीस के महानतम दार्शनिक प्लेटो द्वारा तर्कसंगत विचार और ज्यामितीय विवेकबुद्धि की महत्ता का प्रतिपादन।
लगभग ४०८ से ३५५ ईसापूर्व	: युदोक्सुस का सुझाव कि सितारे पारदर्शी गोलाकार मंडलों में जड़े हुए हैं, जो कि पृथ्वी के चारों ओर घूम रहे हैं।
३८४-३२२ ईसापूर्व	: प्लेटो के शिष्य अरस्तु द्वारा प्राकृतिक जगत का वैज्ञानिक अध्ययन प्रारम्भ।
लगभग ३१०-२३० ईसापूर्व	: अरिस्तारकस का अनुभव करना कि सूर्य पृथ्वी से बहुत बड़ा है। उसने यह भी प्रतिपादन किया कि पृथ्वी सूर्य के चारों ओर घूमती है। (इस धारणा को बहुत से ग्रीक वैज्ञानिकों ने स्वीकार नहीं किया। लेकिन पोलिश खगोलविद निकलॉस कॉपरनिकस ने इसे १५४३ में पुनर्जीवित किया, और इटली के गैलिलियो ने इसे सहमति दी, यद्यपि अधिकांश लोगों ने इसे फिर भी स्वीकार नहीं किया।)
लगभग ३०० ईसापूर्व	: यूक्लिड द्वारा अपनी ज्यामिति की पुस्तक "द एलिमेंट्स " का लिखना, जिसका प्रयोग आज भी होता है।
लगभग २८७-२१२ ईसापूर्व	: आर्किमिडीज़ द्वारा ज्यामिति, गणित, मैकेनिक्स, हइड्रोस्टैटिक्स व खगोलशास्त्र का अध्ययन।
२७३-१९२ ईसापूर्व	: एरातोस्थेनेस द्वारा पृथ्वी के माप का आकलन, और ज्ञात जगत के मानचित्र का बनाना।
१२७-१४८ ईस्वी	: क्लॉडियस टॉलेमी द्वारा ग्रीक खगोलशास्त्र के निष्कर्षों का निरूपण, जिसमें शामिल था यह विचार कि सूर्य पृथ्वी के चारों ओर भ्रमण करता है।

शब्द-तालिका

बीजगणित (Algebra) : एक प्रकार का गणित जिसमें संख्याओं के स्थान पर चिह्नों का प्रयोग किया जाता है।

खगोलशास्त्र (Astronomy) : वह विज्ञान जो सितारों, ग्रहों, व अन्य आकाशीय पिंडों का अध्ययन करता है।

परमाणु (Atom) : किसी पदार्थ का सबसे छोटा कण जिसे और बांटा नहीं जा सकता।

उत्प्लावकता (Buoyancy) : वह बल जो द्रवों में तैरती वस्तुओं को सहारा देता है।

परिधि (Circumference) : वृत्त के घेरे की लम्बाई।

घनत्व (Density) : कोई पदार्थ कितना "घना" है, यानि उसके इकाई आयतन में कितना भार है।

व्यास (Diameter) : वृत्त के घेरे के दो बिंदुओं को मिलती उसके केंद्र से होकर जाती सीधी रेखा की लम्बाई।

ग्रहण (Eclipse) : जब एक आकाशीय पिंड दूसरे पिंड पर पड़ने वाले प्रकाश को रोक देता है। जब चन्द्रमा सूर्य से पृथ्वी पर पड़ने वाले प्रकाश तो रोक देता है, तो इसे सूर्य ग्रहण कहते हैं।

प्रयोग (Experiment) : प्रयोगशाला में किया गया कोई परीक्षण, किसी सिद्धांत की सत्यता को जांचने के लिए, या नई जानकारी जुटाने के लिए।

आकृति (Figure) : कोई ज्यामितीय आकार, जैसे त्रिभुज या वृत्त।

ज्यामिति (Geometry) : गणित की वह शाखा जो रेखाओं, कोणों, सतहों, और ठोस आकारों का अध्ययन करती है।

हाइड्रोमीटर (Hydrometer) : द्रवों का घनत्व नापने का एक यंत्र।

हायड्रोस्टैटिक्स (Hydrostatics) : वह विज्ञान जो द्रवों का स्थिर अवस्था में अध्ययन करता है, जैसे किसी तालाब या बांध में।

लीवर (Lever) : भारी वज़न को उठाने के लिए प्रयोग की जाने वाली एक मशीन। इसमें एक लम्बी छड़ होती है, जिसे एक स्थिर धुरी पर टिका कर ऊपर-नीचे किया जाता है।

गणित (Mathematics) : वह विज्ञान जो संख्याओं और उनसे की जाने वाली गणनाओं का अध्ययन करता है। इसमें शामिल हैं अंकगणित, बीजगणित और ज्यामिति।

मैकेनिक्स (Mechanics) : विज्ञान जो मशीनों की कार्यप्रणाली का अध्ययन करता है।

पेपिरस (Papyrus) : प्राचीन मिस्र के लोगों द्वारा सरकंडे की डंठलों से बनाया गया एक प्रकार का कागज़।

आर्किमिडीज़ ग्रीस का महानतम वैज्ञानिक था। वह एक खगोलविद था, और उसने सितारों व ग्रहों की चाल को दर्शाने के लिए एक मॉडल तारामंडल (Planetarium) बनाया। वह एक कुशल गणितज्ञ था। उसने वृत्त का क्षेत्रफल और गोले का आयतन निकालने का फार्मूला खोजा, और ज्यामिति के बहुत से सूत्र सिद्ध किये। उसने लीवर और घिरनियों की कार्य-प्रणाली का अध्ययन किया, और भारी वज़नों को उठाने में उनका प्रयोग किया। उसका "आर्किमिडीज़ पेंच" नामक यंत्र जिसका उपयोग नहरों से पानी खेंचने के लिए होता था, आज भी इस्तेमाल किया जाता है, और उसका उत्प्लावकता (buoyancy) का सिद्धांत आज भी स्कूलों में पढ़ाया जाता है। आर्किमिडीज़ को प्रायोगिक विज्ञान का जनक भी कहा जाता है, क्योंकि उसने अपनी धारणाओं की पुष्टि प्रयोगों द्वारा की, और इस प्रकार भविष्य की वैज्ञानिक प्रगति की नींव रखी।